

Method of making use of a multiple-alarm surveillance network

Patent Number: FR2583191
Publication date: 1986-12-12
Inventor(s):
Applicant(s): QUARIN ALAIN (FR)
Requested Patent: ☐ FR2583191
Application: FR19850008630 19850607
Priority Number(s): FR19850008630 19850607
IPC Classification: G08C19/00; G06F15/46;
EC Classification: G08B19/00, G08B23/00,
Equivalents:

Abstract

The alarms are each allocated a weighting coefficient W_i and a priority index B_i and the weighted total I_p of the alarms triggered at the instant in question is calculated and this total is compared to a minimum value I_{PM} and to a maximum value I_{pH} , eliminating from the displayed list any alarm, not allocated a criticality index $B_i + 1$, appearing while the weighted total of the alarms lies between these values, and emergency actions are triggered when the alarm detected makes the total exceed the maximum value I_{pH} , a diagrammatic display visually representing, via a change in the appearance of the representative symbol, the overall status of the alarms triggered at the instant in question. The invention allows management of alarm lists via a computer without risk of

overloading the computer and the operator. 

Data supplied from the esp@cenet database - I2

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction

2 583 191

②1 N° d'enregistrement national :

85 08630

⑤1 Int Cl⁴ : G 08 C 19/00; G 06 F 15/46; G 08 B 23/00.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 7 juin 1985.

③0 Priorité :

⑦1 Demandeur(s) : QUARIN Alain. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Alain Quarin.

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOP « Brevets » n° 50 du 12 décembre 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

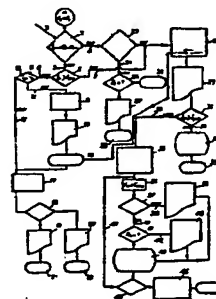
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet André Lemonnier.

⑤4 Procédé d'exploitation d'un réseau de surveillance à alarmes multiples.

⑤7 Les alarmes sont affectées chacune d'un coefficient de pondération W_i , et d'un indice de priorité B_i , et on calcule le total pondéré I_p des alarmes déclenchées à l'instant considéré et compare ce total à une valeur minimale I_{pm} et à une valeur maximale I_{ph} en éliminant de la liste affichée toute alarme, non affectée d'un indice de criticité $B_i + 1$, apparaissant alors que le total pondéré des alarmes est compris entre ces deux valeurs et on déclenche des actions d'urgence lorsque l'alarme détectée fait passer le total au-dessus de la valeur maximale I_{ph} , un affichage synoptique matérialisant visuellement, par une modification d'aspect du symbole représentatif, l'état global des alarmes déclenchées à l'instant considéré.

L'invention permet la gestion des listes d'alarme par un ordinateur sans risque d'une surcharge de l'ordinateur et de l'opérateur.



FR 2 583 191 - A1

Procédé d'exploitation d'un réseau de surveillance à alarmes multiples.

La présente invention concerne d'une manière générale l'exploitation des réseaux de surveillance des installations mettant en oeuvre des processus complexes telles que les usines de l'industrie chimique et pétrochimique, les installations
5 pétrolières, les centrales nucléaires, etc. ou les ensembles complexes tels que les navires, les aéronefs et autres. D'une manière plus générale elle concerne les installations à conduite hautement centralisée avec une automatisation très
10 poussée. Ces réseaux de surveillance se caractérisent par le nombre extrêmement élevé des détecteurs ou alarmes qui surveillent l'ensemble des valeurs caractéristiques de chacun des nombreux stades du traitement et/ou les caractéristiques de fonctionnement ou le bon état de marche des divers machines et appareils.

15

Il est nécessaire de porter les informations fournies par

ces détecteurs ou alarmes à la connaissance de l'opérateur chargé de la surveillance et qui doit agir pour corriger les défauts de fonctionnement, ces informations devant être présentées sous une forme élaborée afin d'être exploitables.

5

Il est usuel de présenter ces informations sous forme de listes d'alarmes d'urgence et de danger en se bornant à afficher la liste historique des alarmes avec l'heure, la nature de l'alarme, la valeur du dérangement et autres avec éventuellement une modification de la couleur ou de l'état de l'affichage si l'alarme a été acquittée ou non. Par "acquiescement" on entend le fait que l'opérateur a pris connaissance de l'alarme. Ces systèmes peuvent comporter un affichage sélectif des seules alarmes d'urgence.

15

On a également déjà proposé de présenter ces informations sous une forme dite "vue de synthèse" dans laquelle on affiche, pour chaque unité de l'installation, les déviations par rapport à la normale des alarmes de chaque appareil de l'unité sous forme de graphiques à barres parallèles, les longueurs des barres au-dessus ou au-dessous d'une horizontale matérialisant les valeurs des déviations positives ou négatives des mesures par rapport à la valeur idéale.

25

Il a également déjà été proposé d'afficher en combinaison avec les listes d'alarmes des "menus" ou schémas par blocs des ensembles de l'installation surveillée et de faire correspondre à chaque bloc, en réponse à une sélection de l'opérateur, une représentation schématique de l'ensemble correspondant avec affichage des alarmes en "état d'alarme". Dans ces "menus" on n'affiche pas l'état de perturbation des différents ensembles et la "sélection" de l'opérateur ne peut être effectuée qu'à partir des listes d'alarmes.

30

35 D'une manière générale on peut reprocher à ces différents systèmes le foisonnement du nombre des alarmes du fait de

l'adoption de sécurités à plusieurs niveaux, de l'emploi d'alarmes à surveillance de la valeur d'une grandeur combinées avec des détecteurs à maxima et minima de cette grandeur, de l'existence d'alarmes faisant double emploi et autres.

- 5 Ce foisonnement entraîne un encombrement excessif des listes d'alarmes avec l'obligation pour l'opérateur d'effectuer continuellement une sélection parmi les alarmes pour remédier aux causes des alarmes sélectionnées avec, surtout en régime semi-perturbé, un risque non négligeable de défaut d'information
- 10 de l'opérateur préposé à la conduite à qui peut échapper une information essentielle. Il est donc absolument nécessaire de hiérarchiser les différentes alarmes pour éviter une surcharge du calculateur et de l'opérateur chargé de la surveillance tout en assurant par un affichage synoptique l'information
- 15 de l'opérateur sur l'état de perturbation des différents ensembles de l'unité surveillée pour lui permettre d'intervenir prioritairement sur les causes des alarmes des ensembles les plus perturbés. Les procédés d'exploitation antérieurement connus ne permettent pas d'informer l'opérateur sur des facteurs
- 20 importants de la conduite que l'on appellera ci-après l'indice d'alarme de l'ensemble et le facteur d'incontrôlabilité.

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients et aux insuffisances ci-dessus des procédés connus et elle

25 a pour objet un procédé d'exploitation d'un réseau de surveillance à alarmes multiples qui combine le procédé d'affichage dit à listes d'alarmes avec au moins un affichage synoptique, les listes d'alarmes étant gérées par un ordinateur qui commande l'affichage des listes d'alarmes et la transposition

30 de ces alarmes sous forme d'affichages synoptiques, caractérisé en ce que les alarmes sont affectées chacune d'un coefficient de pondération et d'un indice de priorité et en ce que l'on calcule le total pondéré des alarmes déclenchées à l'instant considéré et compare ce total à une valeur minimale et à une

35 valeur maximale en éliminant de la liste affichée toute alarme, non affectée d'un indice de priorité, apparaissant alors que le total pondéré des alarmes est compris entre ces deux valeurs et on déclenche des actions d'urgence lorsque

l'alarme détectée fait passer le total au-dessus de la valeur maximale, l'affichage synoptique matérialisant visuellement, par une modification d'aspect du symbole représentatif, l'état global des alarmes déclenchées à l'instant considéré concernant
5 chaque poste, secteur, unité ou équipement, état global déterminé par la somme totale desdites alarmes pondérées.

Avec le procédé d'exploitation conforme à l'invention la liste ou les listes des alarmes correspondant à chaque "ensemble",
10 le mot ensemble tel qu'utilisé dans la présente description pouvant correspondre à un poste par exemple une machine ou un groupe de machines ou une enceinte de réaction avec un nombre limité d'alarmes, à un secteur regroupant plusieurs postes, à une unité regroupant plusieurs secteurs et postes
15 ou à un équipement comportant diverses unités, sont formées par la liste historique des alarmes concernées tant que l'état de perturbation reste faible, le total pondéré restant inférieur à la valeur minimale. Lorsque le total pondéré dépasse cette valeur minimale tout en restant inférieur à une valeur maximale,
20 on se trouve dans une zone dite d'inhibition dans laquelle on n'introduit dans les listes que les alarmes affectées d'un indice de priorité et élimine des listes des alarmes antérieures les alarmes non affectées de cet indice. Enfin, lorsque le total pondéré dépasse la valeur maximale, on déclenche auto-
25 matiquement les actions d'urgence préfixées telles que l'arrêt de l'installation ou autres.

En outre, pour chaque ensemble, on calcule le total pondéré des alarmes déclenchées à l'instant considéré (que l'on appellera par abréviation ci-après "alarmes déclenchées") et
30 détermine un "indice de perturbation" de l'ensemble par comparaison dudit total pondéré avec une échelle.

L'affichage synoptique est assuré par une modification,
35 selon l'état de perturbation, de la couleur et/ou de l'aspect du symbole représentatif de chaque ensemble, c'est-à-dire de chaque poste, secteur, unité ou équipement contrôlé à titre

indépendant. La variation de couleur est de préférence et afin de permettre un accroissement du nombre des degrés de l'échelle sans possibilité de confusion entre couleurs voisines, associée à une variation d'aspect telle que couleur fixe ou éclats.

Pour permettre une meilleure évaluation par l'opérateur de l'évolution de l'état de perturbation de chaque ensemble, on calcule et affiche, conformément au procédé d'exploitation de l'invention, outre le total pondéré des alarmes déclenchées ou indice de perturbation de l'ensemble, un certain nombre de valeurs ou d'indices choisis avec pertinence à savoir : le signe de variation ou dérivée fonction de l'unité de temps du total pondéré; l'indice de fréquence ou nombre d'alarmes se déclenchant par unité de temps; l'indice d'acquiescement ou pourcentage du nombre d'alarmes acquiescées par rapport au nombre total d'alarmes; l'indice d'inhibition ou pourcentage du nombre d'alarmes inhibées, c'est-à-dire supprimées des listes d'alarmes, par rapport au nombre possible d'alarmes; l'indice des boucles contrôlées en manuel ou pourcentage des boucles ainsi contrôlées par rapport au nombre total des boucles ; l'indice du nombre des cascades coupées ou pourcentage de celle-ci par rapport au nombre total des cascades; l'indice de non optimisation qui représente le pourcentage des aides et automatismes prévus dans l'ensemble qui sont neutralisés, etc. On peut également calculer et afficher des indices dérivés des indices ou valeurs ci-dessus pour obtenir un indice d'alarme d'unité et un facteur d'incontrôlabilité de l'unité.

30

Il est rappelé que l'on appelle "alarme acquiescée" une alarme déclenchée qui a été prise en compte par l'opérateur, cette prise en compte se traduisant par une manoeuvre d'acquiescement; on appelle "boucle de régulation" un ensemble technologique d'éléments permettant de capter une mesure, de la comparer à une valeur "objectif" appelée point de consigne et de déduire de la différence la correction à effectuer par un actionneur

35

sur un organe agissant sur la valeur mesurée. On appelle "cascade" un ensemble de deux boucles de régulation qui constitue un ensemble d'asservissement de deux variables entre elles, l'actionneur de la première boucle pilotant le point de consigne de la deuxième boucle.

L'affichage synoptique est alors effectué de préférence et selon une autre caractéristique, pour chaque ensemble contrôlé à titre indépendant, par une figure géométrique polygonale dont les sommets se déplacent selon des vecteurs radiaux fixes, la distance des sommets au centre étant fonction de la valeur de l'indice affecté à chaque vecteur. L'aire de la figure polygonale peut être colorée selon une échelle de couleurs fonction de l'état propre à chaque vecteur. Les couleurs de l'échelle correspondant aux degrés inférieurs de l'échelle peuvent être affichées sur les aires qui leur sont propres lorsque la valeur de l'état dépasse les valeurs vectorielles délimitant l'aire de chaque coloration.

La figure polygonale d'affichage synoptique est de préférence accompagnée par un graphique de l'historique des valeurs antérieures de la surface polygonale en fonction du temps. On peut éventuellement afficher le signe instantané de la dérivée.

Les surfaces des figures polygonales fournissent la synthèse des valeurs des vecteurs qui la déterminent et correspondent à un index d'alarme d'unité et au facteur d'incontrôlabilité de l'unité.

L'invention sera décrite plus en détail ci-après avec référence aux dessins ci-annexés dans lesquels :

La figure 1 est un schéma par blocs du traitement des alarmes à l'étage préliminaire du procédé de l'invention; la figure 2 est l'algorithme de traitement des alarmes conformément au procédé

objet de l'invention; la figure 3 est un schéma d'un ensemble contrôlé constitué par un poste machine avec ses alarmes destiné à illustrer le procédé antérieur et le procédé conforme à l'invention d'exploitation d'un réseau de surveillance à alarmes multiples; la figure 4 est un schéma correspondant à la figure 1 pour le poste contrôlé de la figure 3; la figure 5 est une représentation sur un écran d'affichage d'une liste d'alarmes affichée selon le procédé antérieur d'exploitation; la figure 6 est une représentation sur un écran d'affichage de la liste d'alarmes affichée selon le procédé de l'invention jusqu'à ce que l'indice de perturbation minimum déterminant l'inhibition soit atteint; la figure 7 est une représentation sur un écran d'affichage de la même liste après dépassement de cet indice de perturbation minimum d'inhibition; la figure 8 est une représentation sur un écran d'affichage de la liste spéciale des ensembles en alarme; la figure 9 est une représentation sur un écran d'affichage du synoptique de conduite du poste machine au même temps que les figures 7 et 8; la figure 10 est une représentation sur un écran d'affichage de l'unité regroupant plusieurs postes et secteurs avec le poste représenté dans ce même état de perturbation; la figure 11 est une représentation sur un écran d'affichage de la liste d'alarme selon les figures 6 et 7 à un autre état de l'évolution de la perturbation et la figure 12 correspond à la figure 9 pour l'état de perturbation de la figure 11, la figure 13 correspond à la figure 10 pour un état de perturbation plus important de l'unité et la figure 14 est la représentation sur écran du synoptique de surveillance à figures géométriques polygonales.

L'installation d'exploitation des alarmes comporte un certain nombre de points de vérifications PV_1 à PV_N qui peuvent être des alarmes à contact d'urgence ou de danger, des alarmes historiques basées sur l'observation d'une répétition cyclique
 5 anormale d'une variation, des alarmes de seuil de la variation de la valeur d'une grandeur variable, la sortie d'un ordinateur assurant la prévision de l'apparition sur un poste d'une valeur anormale par suite de la variation d'une valeur observée sur un autre poste, la sortie d'un ordinateur comparant la variation
 10 de la valeur d'une donnée avec un programme préfixé fonction du temps ou de la variation d'une autre donnée, etc. Ces points de vérification donnent des entrées I_1 à I_N entrées qui sont affectées, dans un calculateur 1 utilisant une mémoire catalogue des alarmes, d'un poids W_1 à W_N selon l'importance de l'alarme
 15 en cause dans l'évolution du processus ou de l'installation surveillés et d'un "bit" B_1 à B_N ou indice de valeur 1 ou 0 selon qu'il s'agit d'une alarme critique ou d'une alarme autre. Le calculateur fonctionne à la fois comme additionneur au moment de la fermeture d'une alarme et comme soustracteur
 20 lorsqu'une alarme disparaissant, l'entrée correspondante disparaît.

Le calculateur calcule en conséquence l'indice de perturbation I_p donné par la formule

$$I_p = \frac{\sum_{i=1}^N PV_i * W_i}{\sum_{i=1}^N W_i} * X$$

30 dans laquelle : PV_i est égale à 0 ou 1 selon que l'entrée I_i est ouverte ou fermée; W_i est le poids de l'alarme I_i et X est un facteur d'échelle dépendant du poste, du secteur ou de l'unité auquel se réfère l'indice de perturbation calculé.

L'indice de perturbation ainsi calculé est mis en mémoire

pour le poste (I_p), secteur (I_{pS}) ou unité (I_{pU}) auquel il se réfère et il est comparé avec une première échelle des états de perturbation du poste, secteur ou unité qui sera affiché sur l'affichage synoptique. En pratique l'échelle
5 comporte huit états qui peuvent être matérialisés par quatre couleurs fixes ou clignotantes. Le calculateur effectue également le calcul de la dérivée pour faire figurer sur l'affichage synoptique la croissance ou la décroissance de l'indice de perturbation sous forme de flèches pointe en haut ou pointe
10 en bas.

Les résultats de ces différents calculs sont envoyés en entrée à l'ordinateur qui gère les mémoires dans lesquelles sont enregistrées dans une mémoire la liste des alarmes d'urgence
15 et dans une autre mémoire la liste des autres alarmes. Dans chacune de ces mémoires les alarmes non effacées sont affectées d'un signe d'acquiescement ou de non acquiescement qui détermine leur affichage sous deux formes distinctes dans la liste historique des alarmes.

20 L'étage de l'ordinateur affecté à chaque ensemble ou sous-ensemble surveillé reçoit en A l'entrée constituée par l'alarme C_j affectée de son indice B_j caractéristique des alarmes critiques. L'entrée est envoyée à un comparateur 2, commandé par
25 la sortie 3, qui effectue la comparaison de l'indice de perturbation I_p calculé comme indiqué ci-dessus avec deux valeurs minimale I_{pM} et maximale I_{pH} . Le comparateur 2 donne une sortie en 4 si I_p est compris entre ces deux valeurs et une sortie en 5 si l'inégalité n'est pas vérifiée. La sortie 5 est envoyée
30 à un comparateur 6 qui teste l'inégalité $I_p > I_{pH}$ et émet une sortie 7 si la réponse est positive et une sortie 8 si elle est négative. La sortie 8 est envoyée à une porte 9 contrôlée par la sortie 10 de la mémoire du sens de variation de I_p enregistré comme exposé ci-dessus et elle donne une sortie
35 en 11 si I_p décroît et une sortie en 12 dans le cas contraire. La sortie 11 résulte du fait que l'indice de perturbation I_p n'est pas dans la bande morte (NON sur 2) et n'est pas supérieur à I_{pH} (NON sur 6)

est devenu inférieur à I_{PM} entre l'entrée de l'alarme C_{j-1} et de l'alarme C_j cela signifie que l'état de perturbation est faible et il y a lieu de rétablir l'enregistrement normal des alarmes dans les mémoires sans inhiber certaines alarmes
5 comme cela sera exposé ci-après. Ceci est assuré par un inverseur 13 commandé par la sortie 11 lequel autorise la remise en liste 14 des alarmes indépendamment de leur caractère d'urgence et désexcite, par 15, l'alarme 16 dont il sera fait état ci-après. La sortie 11 est envoyée avec la sortie 12
10 à un poste 17 de traitement normal des alarmes qui peut être un ordinateur de gestion assurant une commande logique automatique et les sorties sont envoyées à une porte 18 qui selon la valeur 0 ou 1 de B_j envoie l'alarme à une mémoire 19 des alarmes d'urgence ou à une mémoire 20 des autres alarmes,
15 les contenus desdites mémoires pouvant être affichés par des sorties 21 et 22.

Si la sortie du comparateur 6 est la sortie 7, cela signifie que l'indice de perturbation I_p est supérieur à la valeur
20 maximale d'alerte I_{PH} et cette sortie est envoyée directement à un dispositif 16 de mise en alarme du poste, du secteur ou de l'unité surveillé par l'étage de l'ordinateur. La chaîne des opérations d'alarme sera exposée ci-après.

25 Si I_p est compris entre I_{PM} et I_{PH} , ce qui se traduit par la sortie 4, celle-ci est envoyée à une porte 23 qui détermine si l'alarme C_j est la première alarme apparaissant après que la sortie 4 soit devenue positive et, si cela est, elle envoie une sortie qui est envoyée, comme la sortie 7, au dispositif
30 16 de mise en alarme. Si la réponse de la porte 23 est négative, c'est-à-dire si le dispositif 16 est déjà en alarme, la sortie 24 est envoyée à une porte 25 commandée par la valeur de l'indice de criticité B_j . Si cette valeur n'est pas 1, l'alarme est évacuée en 26, si non il s'agit d'une alarme d'urgence qui
35 est mise en liste d'alarme d'urgence dans la mémoire 27, le contenu de cette mémoire pouvant être prélevé sur la sortie 28.

La mise en alarme du dispositif 16 met le poste, le secteur ou l'unité sur la liste des ensembles en alarme dans une mémoire 29 et commande la comparaison dans un comparateur 30 de la valeur de l'indice de perturbation I_p avec la valeur maximale I_{pH} . Si I_p est supérieur à I_{pH} la sortie 31 commande le dispositif 32 qui déclenche les actions d'urgence mises en mémoire qui sont transmises par la sortie 33. Si l'indice de perturbation reste inférieur à la valeur maximale I_{pH} la sortie 34 est envoyée à un dispositif 35 de traitement des alarmes précédemment enregistrées qui sont la cause du dépassement de la valeur I_{pM} par l'indice de perturbation. Les alarmes en mémoire sont examinées successivement par un dispositif d'adressage 36 et l'état de l'alarme adressée est examiné dans un comparateur 37. Si l'alarme n'est pas acquittée, la sortie 38 détermine son maintien à l'état d'alarme non acquittée, en général l'affichage en rouge dans la partie 39 de la mémoire 27 de la liste des alarmes. Si par contre l'alarme est acquittée, la sortie 40 est envoyée à une porte 41 qui selon que l'alarme acquittée était affectée ou non de l'indice de criticité 1 assure son maintien par la sortie 42 dans la partie 43 correspondant aux alarmes acquittées de la mémoire 27 de la liste des alarmes ou par la sortie 44 la supprime de la liste des alarmes. La porte 45 émet selon que toutes les alarmes en liste d'alarmes ont été traitées ou non, une sortie d'inhibition dans 46 des alarmes des autres contacts ou renvoie une sortie de commande par 47 pour le traitement de l'alarme suivante dans la liste des alarmes.

Le poste machine contrôlé choisi comme ensemble pour comparer le procédé antérieur au procédé conforme à l'invention et illustré à la figure 3 comporte une turbine à vapeur 50, un compresseur 51 et un moteur électrique 52. Le poste machine comporte en outre un circuit de graissage 53 des différents paliers avec une pompe à huile principale 54, une pompe à huile de secours 55, un filtre 56 et une caisse à huile 57. Pour simplifier, le nombre de capteurs équipant ladite unité a été limité à un capteur dénommé PAL2718 de la pression basse de

1° l'huile de graissage, un capteur dénommé PSL2701 de démarrage de la pompe de secours de graissage 55, deux capteurs dénommés TI2720 et 2721 de température des deux paliers du moteur 52, deux capteurs dénommés TI2722 et 2723 de température des deux
 5 paliers du compresseur 51, deux capteurs dénommés TI2712 et 2713 de température des deux paliers de la turbine 50, deux capteurs dénommés TI 2714 et 2715 de température des deux butées de la turbine, un capteur dénommé VR2710 de détection des vibrations du palier du moteur électrique 52 et un capteur
 10 dénommé XS2751 d'arrêt du moteur électrique 52.

La figure 4 est un schéma correspondant à la figure 1 dans le cas de l'installation ci-dessus avec les poids et les indices de priorité des différents facteurs. Dans cette installation
 15 la somme des pondérations des valeurs d'entrée $\sum W_i$ est de 8,90 et l'indice de perturbation minimum d'inhibition I_{pm} en dessous de laquelle toutes les alarmes sont affichées dans le procédé conforme à l'invention est fixé à 2,5 tandis que l'indice de perturbation maximum I_{ph} au dessus duquel sont
 20 déclenchées les procédures d'urgence est fixé à 6.

La perturbation dont les deux modes de traitement selon le procédé antérieur et selon le procédé de l'invention vont être comparés, peut être décrite de la façon suivante :

25

- 1°/ A 4h 30mn 12sec déclenchement de l'alarme du capteur (PAL2718) de la pression basse de l'huile de graissage;
- 2°/ A 5h 10mn 22sec déclenchement de l'alarme du capteur (PSL2701) de démarrage de la pompe de secours de graissage;
- 30 3°/ De 6h 01mn 10sec à 6h 59mn 01sec déclenchements successifs des alarmes (TI2721), (TI2712), (TI2713) et (TI2714) de température des paliers et butées;
- 4°/ A 7h 10mn 14sec et 7h 11mn 15sec déclenchement des alarmes (TI2720) de température de l'autre palier du moteur et (VR2710)
 35 d'apparition de vibrations dans les paliers du moteur.
- 5°/ A 7h 14mn 24sec arrêt du moteur électrique provoquant la fermeture de l'alarme (XS2751); le reste de la ligne d'arbre

continue de tourner mais avec un début d'échauffement du côté turbine.

Une telle perturbation peut avoir pour origine le bouchage
5 du filtre à huile 56.

L'opérateur doit gérer sur une même console plusieurs ensembles de l'installation et les alarmes de tous ces ensembles apparaissent sur une même liste d'alarmes.

10

Dans le cas ci-dessus les alarmes du poste machine désigné par le repère T7 figurent sur la liste en étant intercalées par exemple avec des alarmes provenant des postes D1 et U13. Dans la figure 5 on a représenté la liste des alarmes affichées
15 sur la console le 22 Juin 1984 à 8 heures 23, alarmes qui se sont produites depuis 4 heures 30. Cette liste déborde du format d'une seule page et est affichée sur deux pages. Pour en faciliter l'identification les alarmes correspondant à la perturbation de T7 ci-dessus décrite ont été inscrites
20 en italique mais il doit être compris que les affichages sont effectués avec les mêmes caractères quel que soit le poste ou l'ensemble perturbé.

Il est très difficile pour l'opérateur de distinguer l'essentiel
25 dans une liste de ce type et le code couleur utilisé en pratique se borne à distinguer entre les alarmes acquittées et celles non acquittées.

On examinera maintenant comment l'affichage se trouve modifié
30 avec le procédé d'exploitation conforme à l'invention.

Dans la figure 6, on a représenté l'affichage des alarmes tel qu'il serait à 6h 01mn en supposant d'ailleurs, dans ce qui suit et pour simplifier l'exposé, que seul le poste-machine
35 T7 est exploité selon le procédé, les alarmes des postes D1 et U13 continuant à être affichées selon les procédés antérieurs.

A 4h 30mn 12sec le PAL2718 passe en alarme ce qui , en raison de son poids de 0,8 sur un total de 8,9, donne un indice de perturbation de 0,9. A 5h 10mn 22sec le PSL2701 passe en sécurité et du fait du poids de 1,0 de cette nouvelle alarme donne un indice de perturbation de $\frac{1,8}{8,9} \times 10 = 2,02$.

Jusqu'à 6h 01min ces deux alarmes apparaissent normalement dans la liste des alarmes destinée à l'opérateur car l'indice de perturbation n'est pas arrivé dans la bande morte et on a toujours $I_p < I_{pm}$. Il n'y a pas de début d'échauffement dans la ligne d'arbre et l'opérateur s'occupe des perturbations de l'unité D1.

A 6h 01mn 10sec , l'alarme TI2721 passe en alarme à 87°C pour un seuil haut à 80°C. A ce moment, l'indice de perturbation I_p devient $I_p = \frac{1 + 0,8 + 0,5}{8,9} \times 10 = 2,584$. Si on se reporte à la figure 2, on voit que ceci va donner une sortie en 4 laquelle est envoyée à la porte 23 et cette alarme étant la première alarme au dessus de I_{pm} la sortie est envoyée au dispositif 16 qui met le poste sur la liste des ensembles en alarme dans la mémoire 29. Cet ensemble T7 en alarme spéciale est désigné par T7SURVK1001.

Comme I_p est inférieur à I_{ph} la sortie correspondant à l'alarme TI2721 est envoyée par la sortie 34 au dispositif 35 de traitement des alarmes précédemment enregistrées pour l'unité T7. Les trois alarmes PAL2718, PSL2701 et TI2721 sont ainsi traitées et dès lors que les deux alarmes PAL2718 et TI2721 qui ont un indice de priorité de 0 (voir figure 4) ont été acquittées par l'opérateur, elles sont retirées de la liste des alarmes. Par contre PSL2701 qui a un indice de priorité de 1 reste sur la liste des alarmes avec éventuellement l'indication de couleur indiquant qu'elle a été acquittée. A partir de ce moment toutes les alarmes de l'unité T7 n'apparaîtront plus dans la liste des alarmes classiques sauf si leur indice de priorité est égal à 1 ce qui est le cas de VR2710 et XS2751.

- L'opérateur disposera alors pour agir sur la perturbation
- de la liste classique des alarmes dans laquelle apparaîtront seules les alarmes de l'unité en alarme spéciale qui sont affectées de l'indice de priorité de 1 (fig. 7)
 - 5 - de la liste des unités en alarme spéciale avec indication de l'indice de perturbation (2,58) et du sens de variation (flèche pointe en haut) (Fig. 8) ainsi que l'indice de perturbation des différents secteurs surveillés sur la même console I_{PS} .
 - 10 - du synoptique de conduite dans lequel toutes les alarmes déclenchées apparaissent (Fig. 9), les alarmes déclenchées étant hachurées pour la couleur rouge
 - de la vue générale recadrant le synoptique de la machine dans l'ensemble de l'unité surveillée sur la même console
 - 15 (Fig. 10).

En ce qui concerne la figure 7, les alarmes maintenues sur la liste, du fait que leur indice de priorité est égal à 1, peuvent être affichées de façon spéciale et, par exemple,

20 encadrées pour attirer l'attention de l'opérateur. De même sur une ligne de communication à la partie inférieure de l'écran est affichée l'existence d'une liste spéciale d'alarme avec indication de l'unité (T7) ou des unités perturbées figurant sur cette liste.

25 Sur la liste représentée à la figure 8, sur laquelle figurent tous les ensembles élémentaires surveillés qui se trouvent en alarme spéciale, c'est-à-dire dont l'indice de perturbation est supérieur à la valeur minimale I_{PM} , on n'a représenté

30 dans le présent cas et par simplification que l'unité T7. Sur cette liste sont affichés l'heure, le nom, le seuil de premier franchissement ($I_{PM} = 2,5$), la valeur atteinte par l'indice de perturbation et le sens de variation ainsi que le descriptif du point de surveillance. Sur la ligne de communication sont représentées les valeurs de l'indice de perturbation de chaque section (I_{PS}), une section pouvant regrouper

35 plusieurs postes élémentaires. La section concernée (A2003

Fig. 10) regroupe les postes élémentaires T7 (A2005) D1 et U13 (A2006 et A2007). Si on suppose que A2006 et A2007 ne sont pas perturbés l'indice de perturbation de la section vaut sensiblement $\frac{2,58}{3} = 0,85$ en supposant que le regroupement soit effectué avec une pondération équilibrée. Dans l'en-tête est également affiché I_{PU} qui est l'indice de perturbation global de l'unité d'installation surveillée sur la même console.

Sur le synoptique de conduite du poste-machine représenté à la figure 9 sont affichés l'indice de perturbation du poste T7 égal à 2,58, la flèche indiquant le signe de variation ainsi que tous les détecteurs en alarme (hachurés pour la couleur rouge).

La vue générale de la figure 10 indique les valeurs des I_{PS} et leur variation, la valeur I_{PU} ainsi que l'état de perturbation des postes élémentaires.

Si on examine maintenant l'évolution des listes d'alarmes conformes à l'invention dans le cas de la perturbation ci-dessus décrite, aucune alarme supplémentaire concernant T7 ne sera inscrite sur la liste d'alarme de la figure 7 tant qu'aucune alarme a indice de priorité de 1 n'apparaît. Seules les valeurs I_{PS} et I_{PU} sont mises à jour au fur et à mesure du déclenchement de nouvelles alarmes. Ainsi à 7h 10mn 14sec au moment où le détecteur T7TI2720 passe en alarme la valeur de I_P de T7SURVK1001 vaut

$$\sum W_i = 0,8 + 1 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,8 + 0,5 = 4,6$$

$$I_P = \frac{4,6 \times 10}{8,9} = 5,17.$$

On a alors sur la console d'affichage la liste d'alarme de la figure 11, toutefois le synoptique de la machine (Fig.12) affiche toutes les alarmes ainsi que l'indice de perturbation. Sur la liste spéciale d'alarme sont indiquées les valeurs I_P ; I_{PS} et I_{PU} ainsi que leurs dérivées.

A 7h 11mn 15sec l'alarme VR2710 se met en alarme avec son poids de 1 et son B_i de 1. La valeur de I_p de T7 SURVK1001 devient 6,29 et on franchit la valeur maximale I_{PH} ou deuxième seuil de perturbation qui a été fixé à 6.

5

L'alarme VR2710 dont l'indice de priorité est de 1 est mise en liste d'alarme d'urgence dans la mémoire 27 (Fig. 2). Sur la liste spéciale des alarmes T7 SURVK1001 se remet en alarme si l'alarme a été acquittée, car l'indice de perturbation a franchi le 2ème seuil.

10

Toutefois la situation étant critique et lorsqu'on a prévu une action automatique en cas de non intervention de l'opérateur (qui dans le présent cas aurait dû vérifier l'état des filtres) un programme d'urgence est déclenché dans le dispositif 32 par la sortie 31 (Fig. 2), ce programme d'urgence arrêtant le moteur 52 ce qui se traduit par le déclenchement de la sécurité XS2751 à 7h 14mn 24sec.

15

Dans le cas où la valeur de I_p diminue sur l'équipement correspondant, les alarmes qui s'ouvrent réduisent les valeurs affichées de I_p , I_{PS} et I_{PU} et, lorsque la valeur de I_p devient inférieure à 2,5, les alarmes en entrée sont traitées à nouveau normalement en étant introduites dans la liste quel que soit leur B_i et le poste-machine est supprimé de la liste spéciale d'alarmes.

25

En ce qui concerne la figure 13 qui représente un schéma synoptique d'une unité d'alkylation les postes A4004, A3004 - 3005 - 3006 - 3007 - 3010 - 3011 - 3012 et 3014 ont un indice de perturbation de 1 ainsi qu'ALK008 - 009 - 30 - 38 et 39 et leur encadrement, non représenté, est vert fixe. ALK006, A3013 et A2012 ont un indice de perturbation de 1 et leur encadrement est vert clignotant. L'indice de perturbation de A3008 et A4005 est de 2 et leur encadrement est jaune. L'indice de perturbation de ALK005, A2006, A2007, A2004, A2010 est de 3 et leur encadrement est jaune clignotant. L'indice de pertur-

30

35

- bation de A2003 et A2009 est de 4 et celui de IPU est de 4,5 et leur encadrement est rouge fixe. L'indice de perturbation de ALK004 , A1005 , A2050 , A2007 et A2011, est de 5 et leur encadrement est rouge clignotant. L'indice de perturbation de A1003 , A1006 et A2008 est de 6 et l'ensemble du cadre est rouge tandis que celui de A1006 , A1004 et A3009 est de 7 et l'ensemble du cadre est rouge clignotant. On remarquera que l'indice de perturbation des secteurs A1003 , A2003 , A2050 , A2004 , A4003 et A3008 est le total pondéré des indices de perturbation des postes qui y sont rattachés. Il en est de même pour les indices de perturbation des sous-unités ALK004 ALK005 et ALK006. L'indice d'unité IPU de 4,5 résulte d'un total dans lequel les sous-unités ont des poids différents.
- 15 La figure 14 est une représentation sur l'écran d'affichage de l'état d'alarme de sept unités dont une installation d'alkylation, l'affichage étant basé sur des figures géométriques polygonales à vecteurs radiaux. Dans la partie 58 sont affichées la date et l'heure; la surface 59 correspond à l'index d'alarme figuré par une figure polygonale à aires colorées 60 résultant des vecteurs 61 qui est l'indice de perturbation de l'unité, 62 qui représente le nombre d'alarmes déclenchées par minute, 63 qui est le rapport du nombre d'alarmes acquittées au nombre total possible d'alarmes et 64 qui est le nombre d'alarmes inhibées, c'est-à-dire ne figurant pas sur la liste, par rapport au nombre total possible d'alarmes. La valeur de l'aire 60 est reportée en fonction du temps sur la courbe 65. L'aire polygonale colorée 66 représente le facteur d'incontrôlabilité, le vecteur 67 correspondant au nombre de cascades coupées sur le nombre total de cascades, le vecteur 69 au nombre de boucles exploitées en manuel sur le nombre total de boucles et le vecteur 68 à un facteur d'incontrôlabilité qui est égal à
- $$\frac{100 - \text{index d'optimisation de l'unité}}{100}$$
- 35 l'index d'optimisation étant calculé par la surveillance de

toutes les stratégies d'aides et d'optimisation. La variation de l'aire 66 de la surface représentative du facteur d'incontrôlabilité en fonction du temps est affichée par la courbe 70. Des flèches 71 et 72 indiquent le sens de variation des valeurs absolues indiquées en 73 et 74. Dans la ligne de communication 5 75 sont affichées les surfaces polygonales des autres unités qui résultent des sept vecteurs 61' , 62' , 63' , 64' , 67' 68' et 69' correspondant à chaque unité, une flèche 76 indiquant le sens de variation de la surface représentatrice de la per-
10 turbation de l'unité.

Revendications

1. Un procédé d'exploitation d'un réseau de surveillance à alarmes multiples qui combine le procédé d'affichage dit
5 à listes d'alarmes avec au moins un affichage synoptique, les listes d'alarmes étant gérées par un ordinateur qui commande l'affichage des listes d'alarmes et la transposition de ces alarmes sous forme d'affichages synoptiques, caractérisé en ce que les alarmes sont affectées chacune d'un coefficient
10 de pondération (W_i) et d'un indice de priorité (B_i) et en ce que l'on calcule le total pondéré (I_p) des alarmes déclenchées à l'instant considéré et compare ce total à une valeur minimale (I_{pM}) et à une valeur maximale (I_{pH}) en éliminant
15 de criticité ($B_i = 1$), apparaissant alors que le total pondéré des alarmes est compris entre ces deux valeurs et on déclenche des actions d'urgence lorsque l'alarme détectée fait passer le total au-dessus de la valeur maximale (I_{pH}), l'affichage synoptique matérialisant visuellement, par une modification
20 d'aspect du symbole représentatif, l'état global des alarmes déclenchées à l'instant considéré concernant chaque poste, secteur, unité ou équipement, état global déterminé par la somme totale desdites alarmes pondérées.
- 25 2. Un procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'affichage synoptique est assuré par une modification, selon l'état de perturbation, de la couleur et/ou de l'aspect du symbole représentatif de chaque ensemble, c'est-à-dire de chaque poste, secteur, unité ou équipement
30 contrôlé à titre indépendant.
3. Un appareil selon la revendication 2, caractérisé en ce que la variation de couleur est associée à une variation d'aspect telle que couleur fixe ou éclats.
- 35 4. Un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3,

caractérisé en ce que l'on calcule et affiche, outre le total pondéré des alarmes déclenchées ou indice de perturbation de l'ensemble, un certain nombre de valeurs ou d'indices pertinents tels que : le signe de variation ou dérivée
5 fonction de l'unité de temps du total pondéré; l'indice de fréquence ou nombre d'alarmes se déclenchant par unité de temps; l'indice d'acquiescement ou pourcentage du nombre d'alarmes acquittées par rapport au nombre total d'alarmes; l'indice d'inhibition ou pourcentage du nombre d'alarmes
10 inhibées, c'est-à-dire supprimées des listes d'alarmes, par rapport au nombre possible d'alarmes; l'indice des boucles contrôlées en manuel ou pourcentage des boucles ainsi contrôlées par rapport au nombre total des boucles; l'indice du nombre des cascades coupées ou pourcentage de celle-ci par
15 rapport au nombre total des cascades; l'indice de non optimisation qui représente le pourcentage des aides et automatismes prévus dans l'ensemble qui sont neutralisés, etc. .

5. Un procédé selon l'une quelconque des revendications 1
20 à 4,
caractérisé en ce que l'affichage synoptique est effectué pour chaque ensemble contrôlé à titre indépendant, par une figure géométrique polygonale dont les sommets se déplacent selon des vecteurs radiaux fixes, la distance des sommets
25 au centre étant fonction de la valeur de l'indice affecté à chaque vecteur.

6. Un procédé selon la revendication 5,
caractérisé en ce que l'aire de la figure polygonale est
30 colorée selon une échelle de couleurs fonction de l'état propre à chaque vecteur.

7. Un procédé selon la revendication 5,
caractérisé en ce que la figure polygonale d'affichage sy-
35 noptique est accompagnée par un graphique de l'historique des valeurs antérieures de la surface polygonale en fonction du temps.

1/8

Fig. 1

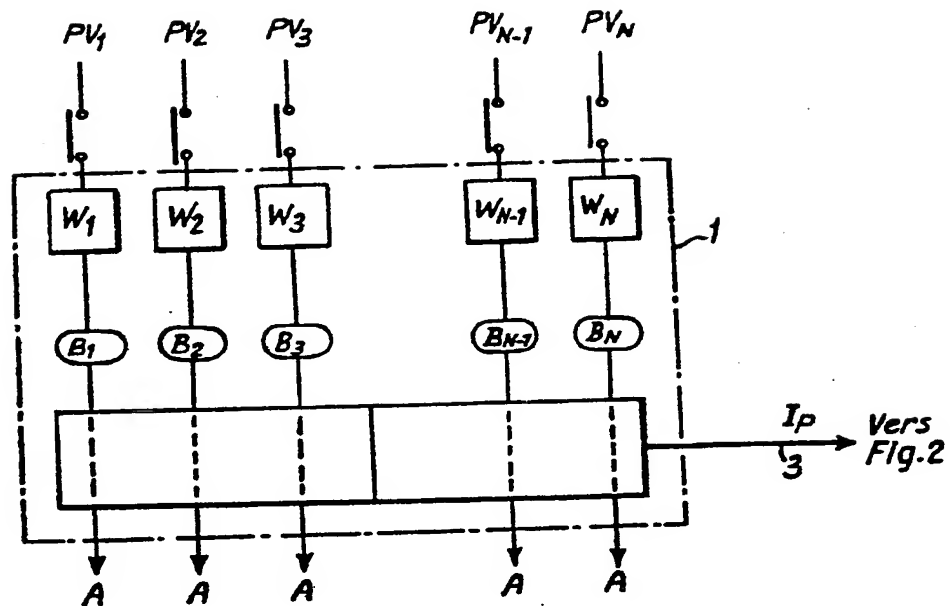


Fig. 4

	PAL 2718	PSL 2701	TL 2720	TL 2721	TL 2722	TL 2723	TL 2712	TL 2713	TL 2714	TL 2715	VR 27210	XS 2751	Entrées non configurées			
W_i	0,8	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1	1,5				
B_i	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1				

SURVK1001
SURVEILLANCE DU COMPRESSEUR KM1001

$$I_P = \frac{\sum_{i=1}^{12} C_i \times W_i \times X}{\sum W_i}$$

Echelle = X = 10

$I_{PH} = 2,5$
 $I_{PH} = 6$

2/8
Fig. 2

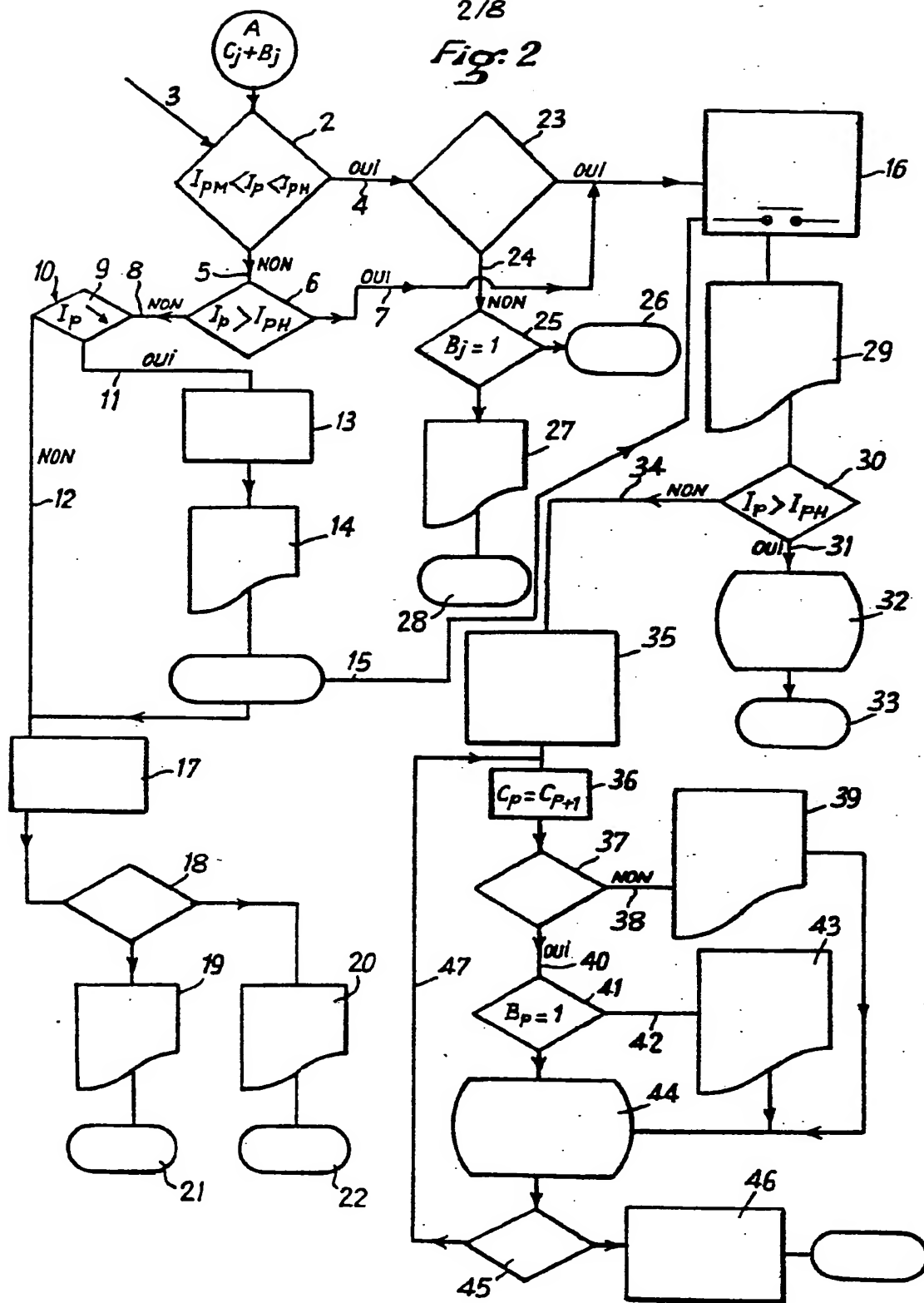


Fig. 5

CONSOLE 02 ALARMES

08:23:00 06-22-84

Page 1

			VALEUR	LIMITE	
05:22:44	U13TI76	HI PV	70,28	69,98	W : ENTREE 1302
05:21:22	U13XA02	DIG A	DEFAULT		W : DEFAULT SEQUENCE T.MIS
07:14:24	T7X52751	DIG A	SEC		E : ARRÊT MOTEUR KM1001
07:11:15	T7XR2710	HI PV	18	10	E : VIBRATIONS MOTEUR KM1001
07:10:14	T7T12720	HI PV	90	80	W : PALIER MOTEUR N° 1
05:59:01	T7T12714	HI PV	81	80	W : BUTEE TURBINE N° 1
05:47:14	U13FAL34	DIG A	NORMAL		W : G.REC L2
06:45:01	U12AJR3C	HI PV	-0,3562	1,500	W : C3 DANS C4 FOND 13H4
06:30:42	U13LAL20	DIG A			W : 13052 CM
06:03:20	T7T12713	HI PV	85,2	80	W : PALIER TURBINE N° 2
06:02:15	T7T12712	HI PV	88,0	80	W : PALIER TURBINE N° 1
06:01:10	T7T12721	HI PV	87,0	80	W : PALIER MOTEUR N° 2
05:32:49	D1XA1016	DIG A	DEFAULT		W : BYPASS SECURITE BAT 4
05:32:44	D1XA1015	DIG A	DEFAULT		W : BYPASS SECURITE BAT 1
05:31:01	D1PSL1094	DIG A	SECURI		W : G 1014 DEMAR SECOURS
05:24:59	D1LXH1078	DIG A	DEFAULT		W : CONDENS. BAT. ANALYS.4
05:24:44	D1PSL1098	DIG A	SECURI		W : CAVIT C1003 A ARRÊT
05:24:30	D1LSL1045	DIG A	SECURI		W : D1003 FERME SORTIE CAU

CONSOLE 02 ALARMES

PAGE 2

05:15:05	D1LDC1062	LO PV	10,36	20,00	W : D1003 INTERF
05:15:21	D1LDI1045	LO PV	4,124	20,00	W : D1003 INTERF
05:10:22	T7PSL2701	DIG A	SECURI		E : DEMARRAGE SECOURS HUILE
05:03:54	D1LAN1067	DIG A	HAUT		W : D1008 INHIBIT. COPROSION
05:02:00	D1LAN1065	DIG A	HAUT		W : D1007 DESEHULSIFIANT
05:01:01	D1PIC1006	LO PV	9,632	9,400	E : D1002B SORTIE TRAIN-B
04:30:12	T7PAL2718	DIG A	BASSE		W : HUILE DE GRAISSAGE

5/8

2583191

Fig 6.

L				06:01:00 06-22-84		
CONSOLE 02 ALARMES				PAGE 1		
05:32:49	DIXA1016	DIG A	DEFAULT	W	BYPASS SECURITE BAT 4	
05:32:44	DIXA1015	DIG A	DEFAULT	W	BYPASS SECURITE BAT 1	
05:31:01	DIFSL1094	DIG A	SECURI	W	C 1014 DEMAR SECOURS	
05:24:59	DIL2H1078	DIG A	DEFAULT	W	CONDENS. BAT. ANALYS. 4	
05:24:44	DIFSL1098	DIG A	SECURI	W	CAVIT G1003 A ARPET	
05:24:30	DILSL1045	DIG A	SECURI	W	D1003 FEMME SORTIE EAU	
05:15:45	DILDC1062	LO PV	10.36	20.00	W	D1003 INTERP
05:15:21	DILDI1045	LO PV	4.124	20.00	W	D1003 INTERP
05:10:27	DIFSL2701	DIG A	SECURI	E	DEMARRAGE SECOURS NOUVE	
05:03:54	DILAH1067	DIG A	HAUT	W	D1008 INHIBIT. CORROSION	
05:02:00	DILAH1065	DIG A	HAUT	W	D1007 DESCHULSIFIANT	
05:01:01	DIPC1006	LO PV	9.632	9.400	E	D1002B SORTIE TRAIN-F
04:30:12	DIFAL2718	DIG A	BASSE	W	NOUVE de GRAISSAGE	

Fig 7

L

CONSOLE 02 ALARMES

06:01:10 06-22-84

PAGE 1

05:32:49	DIXA1016	DIG A	DEFAULT			W	BYPASS SECURITE BAT 4
05:32:44	DIXA1015	DIG A	DEFAULT			W	BYPASS SECURITE BAT 1
05:31:01	DIFSL1094	DIG A	SECURI			W	C 1014 DEMAR SECOURS
05:24:59	DIL2H1078	DIG A	DEFAULT			W	CONDENS. BAT. ANALYS. 4
05:24:44	DIFSL1098	DIG A	SECURI			W	CAVIT G1003 A ARPET
05:24:30	DILSL1045	DIG A	SECURI			W	D1003 FEMME SORTIE EAU
05:15:45	DILDC1062	LO PV	10.36	20.00		W	D1003 INTERP
05:15:21	DILDI1045	LO PV	4.124	20.00		W	D1003 INTERP
05:10:27	DIFSL2701	DIG A	SECURI			E	DEMARRAGE SECOURS NOUVE
05:03:54	DILAH1067	DIG A	HAUT			W	D1008 INHIBIT. CORROSION
05:02:00	DILAH1065	DIG A	HAUT			W	D1007 DESCHULSIFIANT
05:01:01	DIPC1006	LO PV	9.632	9.400		E	D1002B SORTIE TRAIN-B

LSAN

77

Fig:9

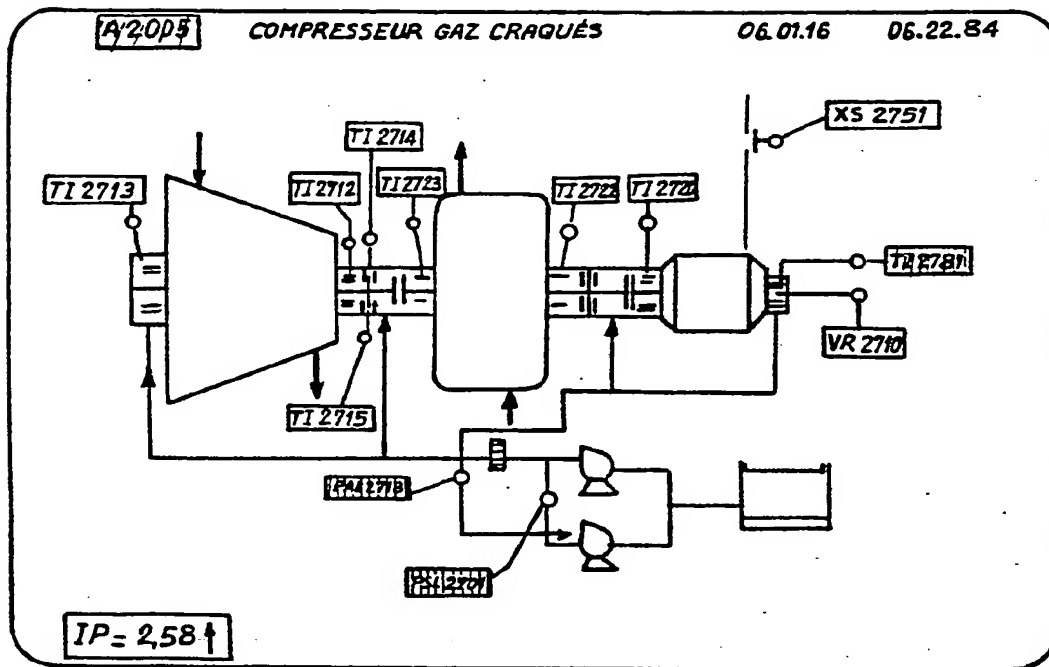
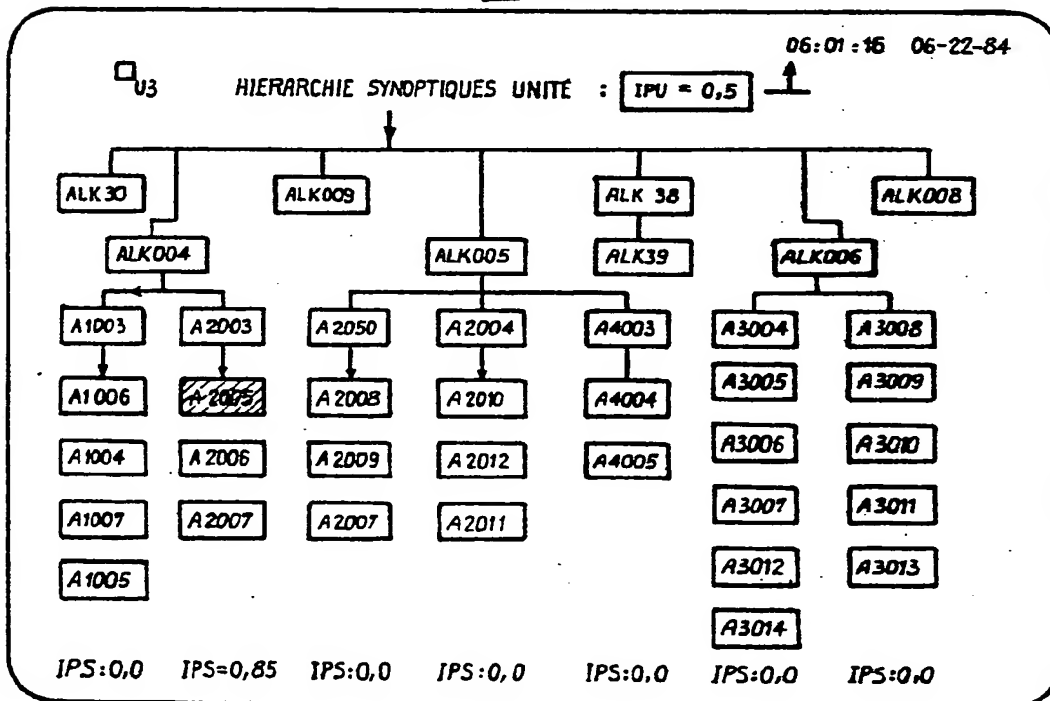


Fig:10



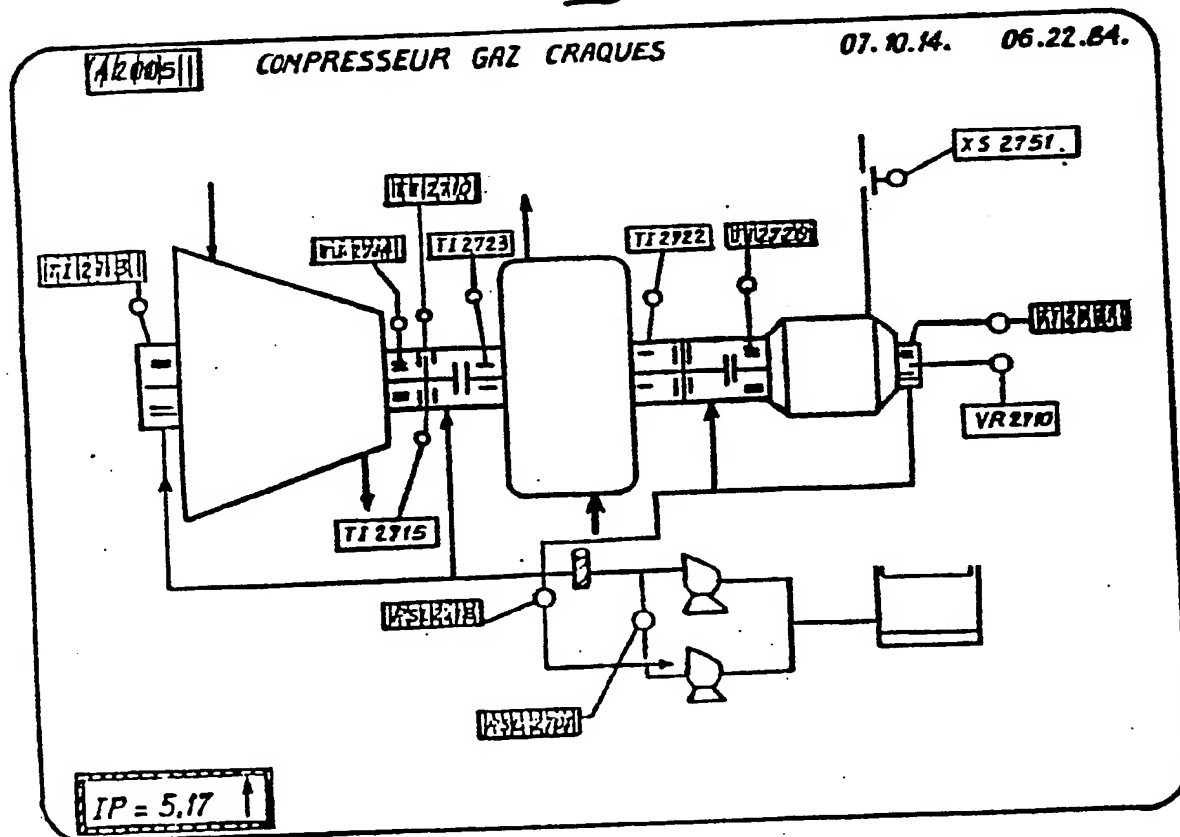
7/8

2583191

Fig. 11

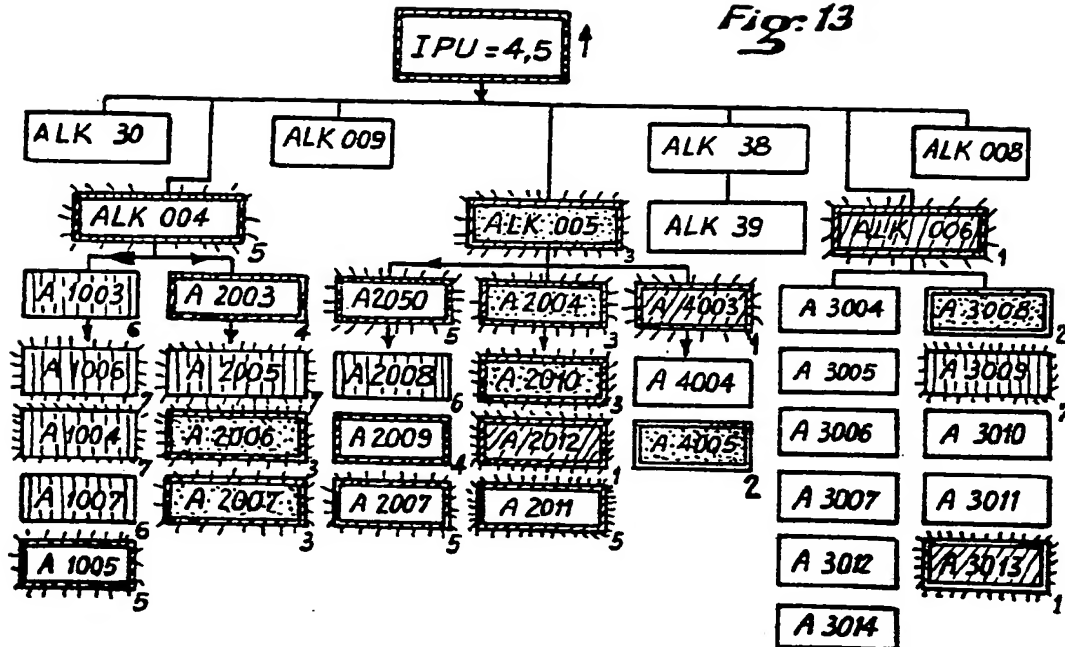
		CONSOLE 2 ALARMS		07.10.14 06-22-84	
06:47:14	UI3FAL34	DIG A	NORMAL	W : G.REG L2	
06:45:01	UI2AJR3C	HI PV	- ,3562	W : C3 DANS C4 FOND 13H4	
06:30:42	UI3LAL20	DIG A		W : 13852 CM	
05:32:49	DIXA1016	DIG A	DEFAULT	W : BYPASS SECURITE BAT 4	
05:32:44	DIXA1015	DIG A	DEFAULT	W : BYPASS SECURITE BAT 1	
05:31:01	DIPSL1094	DIG A	SECURI	W : C 1014 DEMAR SECOURS	
05:21:59	DIL2H1078	DIG A	DEFAULT	W : CONDENS.BAT. ANALYS. 4	
05:24:44	DIPSL1098	DIG A	SECURI	W : CAVIT G1003 A ARRET	
05:24:30	DILSL1045	DIG A	SECURI	W : D1003 FERME SORTIE EAU	
05:15:45	DILDC1062	LO PV	10.36	W : D1003 INTERP	
05:15:21	DILDI1045	LO PV	4.124	W : D1003 INTERF	
05:16:22	17PSL2701	DIG A	SECURI	E : DEMARRAGE SECOURS - HUILE	
05:03:54	DILAH1067	DIG A	HAUT	W : D1008 INHIBIT. COPROSION	
05:02:00	DILAH1065	DIG A	HAUT	W : D1007 DESEMULSIFIANT	
05:01:01	DIPCI006	LO PV	9,632	E / D1002B SORTIE TRAIN-B	
			1.500		
			20.00		
			20.00		
			9.400		

Fig.12



8/8

Fig. 13



TPS = 6↑ IPS = 4↑ IPS = 5↑ IPS = 3↑ IPS = 1↓ IPS = 0 IPS = 2↓

Fig. 14

